

薄膜磁気ヘッド及びその製造方法

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the invention

本発明は、薄膜磁気ヘッド、これを用いた磁気記録装置及びその製造方法に関し、更に詳しくは、薄膜磁気ヘッドに備えられた書き込み素子の改良に係る。

2. Discussion of Background

近年、ハードディスク装置の面密度の向上に伴って、薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。薄膜磁気ヘッドの性能向上は、2つの側面から達成しなければならない。一つは読み取り素子の性能の向上であり、もう一つは書き込み素子の性能の向上である。

読み取り素子の性能は、スピンバルブ膜（SV膜）または強磁性トンネル接合を用いたGMR（Giant Magnetoresistive）ヘッドの開発及び実用化により、著しく向上した。最近では、面密度100（Gb/p）を超える勢いである。

一方、書き込み素子の性能向上に関しては、次に述べるような種々の解決すべき問題がある。

まず、薄膜磁気ヘッドは、コンピュータにおける磁気記録装置の構成要素として用いられるものであるから、高周波特性に優れ、高速データ転送速度に適合するものであることが要求される。薄膜磁気ヘッドの高周波特性は、書き込み素子を構成するヨーク部、及び、コイルの構造に密接に関連する。この様な観点から、従来より種々の先行技術が提案されている。

例えば、U.S.P. 6,043,959号明細書は、第2のヨーク部（上部ヨーク部）を平面状に形成して、コイルの相互誘導インダクタンスを低減させ、高周波特性を改善する技術を開示している。U.S.P. 6,259,583 B1号明細書は、第2のヨーク部を、高透磁率で低異方性の層と、非磁性層とを交互に積層して、平面状に形成する構造を開示している。

上述した先行技術に示されているような平面形状のポール構造は、フォトリソグラフィによって画定されたものであり、記録密度を高めるためには、さら

に、半導体加工技術を適用して、ポール部にサブミクロン加工を施し、狭トラック構造を実現しなければならない。しかし、このサブミクロン加工には、次に述べるような問題が付随する。

まず、ポール部の構造が狭トラック構造になればなるほど、ポール部が磁気飽和しやすくなり、書き込み能力が低下する。そこで、ポール部に飽和磁束密度の高い磁性材料（以下、HiBs 材と称する）を用いることが必要になる。

HiBs 材としては、FeN、CoFeN、NiFe、CoNiFe などが知られている。このうち、FeN、CoFeN などは、たとえば、2.4 T の高い飽和磁束密度を示すが、メッキによるパターン化が困難であり、スパッタによって成膜した後、イオンミリングでパターン化する必要がある。しかし、0.2 μ m 以上の厚い膜厚を有するスパッタ膜の場合、フォトレジストで構成されるマスク、又は、上部ポールを構成する磁性膜によって構成されるマスクの関係から、0.2 μ m 以下のトラック幅を、精度良くコントロールすることが非常に困難であった。

一方、NiFe、CoNiFe などは、メッキにより、容易にパターン化できる。また、NiFe の場合、その Ni と Fe との組成比について、Fe の比率を大きくすることにより、1.5 T ~ 1.6 T の飽和磁束密度が得られる。しかも、組成比のコントロールも容易である。

しかし、80 ~ 100 (Gb/p) の面密度になると、トラック幅が 0.1 ~ 0.2 μ m の微小値になり、それに伴って、2.3 ~ 2.4 T の高飽和磁束密度が要求されることになり、NiFe では、この要求を満たすことができない。メッキ法では、CoNiFe が有力であるが、その飽和磁束密度は 1.8 T 程度であり、トラック幅が 0.1 ~ 0.2 μ m の微小値になった場合に必要な 2.3 ~ 2.4 T の高飽和磁束密度を満たすことができない。

そこで、従来は、メッキ下地膜となる Seed 膜に、例えば、飽和磁束密度 2.4 T の CoFe などを用い、その上に、飽和磁束密度 2.3 T の CoNiFe をメッキするのが一般的であった。

上述した手法によって、例えば、上部ポールを作成した場合、ポールを目標の狭トラック幅にするためには、上部ポールの下に存在する Seed 膜を、上部ポールをマスクとして、Ion Beam などによってトリミングしなければならない。

ところが、Seed 膜は、例えば CoFe のスパッタ膜であり、Ion Beam によるトリミングが非常に困難である。このため、上部ポールをマスクにして、下部ポールをトリミングする場合に、上部ポールの膜減りが大きくなり、例えば、 $3 \sim 3.5 \mu\text{m}$ のメッキ膜として形成された上部ポールが、例えば、 $1.0 \mu\text{m}$ の膜厚まで薄くなってしまふ。上部ポールが、このような薄い膜厚になると、書き込み時に、上部ポールで磁気飽和を起こし、オーバーライト特性が著しく劣化してしまふ。

また、イオン、ミリングによって、上部ポールの幅を $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の微小幅にトリミングする必要があるため、Ion Beam を広い角度で照射する必要があり、上部ポールの先端に向かうほどトリミング量が多くなり、上部ポールが三角形状、又は、台形状になってしまふ。このため、上部ポールの体積が小さくなり、磁気飽和を一層生じやすくなる。

次に、ポールのトリミングに当たって、従来は、上部ヨーク部の形状に沿って、コイル部分を覆うようにトリミング、マスクを設け、上部ヨーク部及び上部ポールを、マスクで覆うことはしなかった。その理由は、上部ヨーク部及びそれに連なる上部ポールの全体をトリミング、マスクで覆うと、マスクパターンのエッジでサイドウォールが発生し、ポールに付着したサイドウォールによって、サイドライトやサイドイレースなどの問題を生じてしまふと考えられていたからである。

上述のように、従来は、上部ヨーク部を、マスクで覆っていなかったために、上部ポールから上部ヨーク部の広い部分にかけて、次第に幅が増大するフレア部分が、Ion Beam によってトリミングされ、幅の拡大を開始するフレアポイントが、空気ベアリング面（以下 ABS と称する）から後退してしまふ。これも、磁気ボリュームを減少させ、オーバーライト特性を劣化させる。

また、フレア部分において、幅が増大する開始点となるフレアポイントが、ABS に近いほど、優れたオーバーライト特性が得られる。トラック幅が $0.2 \mu\text{m}$ 以下に狭小化された場合は、特に、フレアポイントを ABS に近づけなければならない。従来のトリミング方法では、上述した理由から、フレアポイントが後退するほか、次の理由によっても、フレアポイントが後退する。

すなわち、従来は、上部ヨーク部の形状に沿って、コイル部分を覆うようにトリミング、マスクを設け、上部ヨーク部及び上部ポールを、マスクで覆うことはしなかったから、Ion Beam で下部ポールをトリミングした場合、それによって飛散した金属粒子が、上部ポールの側壁面に再付着する。所定のトラック幅を得るためには、この再付着膜は除去しなければならない。再付着膜の除去にあたっては、50～75度の広い角度で、Ion Beam を照射しなければならない。この広い角度の Ion Beam の照射は、上部ポールを更に細らせる。しかも、ポールが、フレアポイントから ABS に向かって、幅が次第に縮小するテーパ角を持つようになり、ABS で見たトラック幅が個々の薄膜磁気ヘッドで変動してしまうという問題を生じる。

また、平面形状のポール構造に半導体加工技術を適用して、ポール部にサブミクロン加工を施し、狭トラック構造が実現されたとしても、ポール部からヨーク部に向かって幅の広がるフレア部分の表面が、ポール部の表面とヨーク部の表面と同一平面を構成するため、書き込み動作時に、フレア部分のサイドから漏洩する磁束によって、磁気記録媒体上の隣のトラックの磁気記録が消去(サイドイレース)され、又は、隣のトラックに磁気記録がなされる(サイドライト)などの問題を生じる。このため、0.2 μm 以下の正確なトラックコントロールが困難であり、100 (Gb/p)以上の高記録面密度を実現することができない。

次に、この種の薄膜磁気ヘッドでは、バックギャップからポール部までのヨーク長 Y_L が短いほど、優れた高周波特性が得られることが知られている。ヨーク長を短くするには、バックギャップからポール部までの間に配置されるコイルのターン数を減少させるか、又はターン数を減少させずに、コイル幅を小さくしなければならない。

しかし、コイルのターン数は、要求される起磁力によって定まるため、コイルターン数を減少させることによって、ヨーク長 Y_L を短くすることには限界がある。

一方、ターン数を減少させずに、コイル幅を小さくした場合は、コイルの電気抵抗が増え、書き込み動作時に発熱温度が上昇する。発熱温度が上昇すると、

第1のポール部及び第2のポール部が熱膨張し、ポール部がABSに盛り上がるサーマルプロトリュージョンが発生する。サーマルプロトリュージョンが発生すると、書き込み及び読み取り動作時に、サーマルプロトリュージョンを生じた部分が磁気記録媒体に接触し、ヘッドクラッシュ又は磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を招くから、厳に回避しなければならない。サーマルプロトリュージョンの回避が不可能であれば、結局は、薄膜磁気ヘッドの浮上量を増大させなければならず、そうすると、高記録密度のための低浮上量化の要求に応えることができなくなる。

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の課題は、100 (Gb/p) 以上の高記録面密度に対応できる高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明のもう一つの課題は、狭トラック幅でありながら、十分なオーバーライト特性を確保し得る高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の更にもう一つの課題は、ポールが、2.2～2.4 (T) の高飽和磁束密度材料 (HiBs 材と称する) を含み、0.1～0.2 μm のトラック幅を有する高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の更にもう一つの課題は、ヨーク長を短くし、高周波特性を改善した高周波対応型の薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の更にもう一つの課題は、5.5 μm 以下のヨーク長を持つ高周波対応型の薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の更にもう一つの課題は、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減した薄膜磁気ヘッド及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の更にもう一つの課題は、上述した薄膜磁気ヘッドを製造するのに適した製造方法を提供することである。

上述した課題を解決するため、本発明に係る薄膜磁気ヘッドでは、前記書き込み素子に含まれる第1のポール部 (下部ポール部) は、ギャップ膜と隣接す

る磁性膜が、幅方向の両側において、第2のポール部（上部ポール部）の幅に合わせてエッチングされ、エッチングによって生じた凹部の底部に、磁性膜の残部が存在し、残部は膜厚が第1のポール部の根元部に近づくにつれて増大する。

このような構造によれば、ギャップ膜と隣接する磁性膜の磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。

ギャップ膜と隣接する磁性膜は、Co及びFeを含む磁性材料でなる。より具体的には、CoFe又はCoFeNの何れかでなる。CoFe又はCoFeNは、飽和磁束密度が2.2～2.4（T）のHiBs材料である。ギャップ膜と隣接する磁性膜は、FeN、CoFe又はCoFeNのスパッタ膜であってもよい。第2のポール部に関しても、ギャップ膜と隣接する磁性膜は、同様の磁性材料によって構成することが望ましい。

以上の組み合わせにより、0.1～0.2 μm のトラック幅を有し、100（Gb/p）以上の高記録面密度に対応できる高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッドを実現することが可能になる。

好ましくは、コイルは、第1のコイルと、第2のコイルとを含む。第1のコイル及び第2のコイルは、第1のヨーク部の一面上に形成された第1の絶縁膜の面上で、バックギャップ部の周りを、渦巻き状に周回し、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜を介して嵌め込まれ、同一方向の磁束を生じるように接続される。

第1のコイル及び第2のコイルの間に存在する第2の絶縁膜は、例えば、Chemical Vapor Deposition（以下、CVDと称する）を適用して、0.1 μm 程度の極薄膜の Al_2O_3 膜として形成できる。したがって、バックギャップ部と第1のポール部との間で、第1のコイル及び第2のコイルの断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第1のコイル及び第2のコイルは、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長YLを短くすることができる。

第1のコイル及び第2のコイルは同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル及び第2のコイルは、巻き方向が同一になるので、第1のコイルの内端と、第2のコイルの外端とを接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。あるいは、第1のコイル及び第2のコイルを並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

第1のコイル及び第2のコイルは、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル及び第2のコイルの上面に対して、共通の第3の絶縁膜を付与することができるので、第1のコイル及び第2のコイルの上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル及び第2のコイルの上に更に他のコイルを形成する際に、安定したベースを提供し、他のコイルを高精度のパターンとして形成することが可能になる。

第1のコイル及び第2のコイルの上に、更に、他のコイルを形成する際は、第1のコイル及び第2のコイルの平坦化とあわせて、ポール片及びバックギャップ片の上面も、コイルの導体面と同一平面となるようにする。こうすることにより、他のコイルを形成する際に必要となるポール片及びバックギャップ片を、平坦化された第1のポール片及びバックギャップ片の上面に、高精度パターンとして形成することができる。

本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、一般には、書き込み素子とともに、読み取り素子を含む複合型の薄膜磁気ヘッドを構成する。読み取り素子は、巨大磁気抵抗効果素子（以下、GMR素子と称する）を含む。GMR素子は、スピンバルブ膜または強磁性トンネル接合の何れかを含む。

上述した薄膜磁気ヘッドの製造にあたっては、前記第2のヨーク部となる磁性膜を、均一な膜厚となるように形成した後、前記第2のヨーク部をレジストマスクによって覆う。前記レジストマスクは、第2のポール部に対応する開口

を有するパターンとする。

次に、レジストマスクをエッチバックさせて、前記第2のヨーク部の前記広い部分を露出させる。その後、前記開口を通して、その内部に含まれる磁性膜及び／又はギャップ膜をエッチングする。

上述したように、本発明に係る製造方法は、第2のヨーク部をレジストマスクによって覆った後、レジストマスクをエッチバックさせて、第2のヨーク部を露出させるプロセスを含むから、レジストマスクが、第2のヨーク部の外周縁に沿い、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着する。このため、その後のエッチングプロセスにおいて、第2のヨーク部の外周縁が、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなり、第2のヨーク部が高精度のパターンとして形成されることになる。

第2のヨーク部は、広い部分を有するとともに、第2のポール部を構成する細い部分に向かって、次第に幅が拡大するフレア部分を含んでいる。本発明では、レジストマスクのエッチバックにより、フレア部分についても、レジストマスクが、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着するから、その後のエッチングプロセスにおいて、フレア部分の外周縁も、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなる。したがって、フレア部分と細い部分との境界に生じるフレアポイントの変動を回避し、薄膜磁気ヘッドとしたときのABSからフレアポイントまでの距離を、一定した微小寸法に設定し、オーバーライト特性を確保することができる。

レジストマスクは、第2のポール部に相当する細い部分に、開口を有しており、前記開口を通して、その内部に含まれる磁性膜及び／又はギャップ膜をエッチングする。細い部分に対する上記エッチングにより、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の狭トラック幅を有する高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッドが実現される。

上記エッチング又はその後の追加的なエッチングによって、細い部分の両側に凹部が生じる。このとき、第1のポール部を構成する磁性膜のうち、ギャップ膜と隣接する磁性膜については、その全部をエッチングするのではなく、凹部の底部に、当該磁性膜の残部が残るようにエッチングする。エッチング手段として、Ion Beam Etchingを用いた場合、Ion Beamの照射角度の選定、

及び、細い部分の幾何学的構造によって、前記磁性膜は、底部の残部の膜厚が第1のポール部の根元部に近づくにつれて増大するようにエッチングされる。このような構造によれば、トラック幅を狭小化したままで、ギャップ膜と隣接する磁性膜の断面積を確保し、その磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。

具体的態様として、第2のヨーク部は、第2の磁性膜と、第3の磁性膜とを含むことができる。この構造のもとでは、前記レジストマスクを形成する前、前記ギャップ膜と隣接して、前記第2の磁性膜を、均一な膜厚となるように形成した後、前記第2の磁性膜の面内に、第3の磁性膜を形成する。

前記第3の磁性膜を形成した後、前記第3の磁性膜の上に前記レジストフレームを形成し、上述したプロセスを実行してもよいし、第3の磁性膜を形成した後、前記レジストマスクを形成する前、前記第3の磁性膜をマスクとして、前記第2の磁性膜をエッチングする工程を含んでもよい。

さらに、前記開口を通して、その内部に含まれる第2のポール部の磁性膜及び／又はギャップ膜をエッチングした後、前記レジストマスクを除去し、次に、第2のポール部を構成する磁性膜をマスクにして、第1のポール部を構成する磁性膜をエッチングする工程を採用してもよい。

前記レジストマスクをエッチバックさせるプロセスは、 O_2 が混入されているプラズマによるドライエッチングプロセス、ハロゲン系又はフロン系のプラズマによるドライエッチングプロセス、等方性のドライエッチングプロセス、又は、異方性のドライエッチングプロセスの何れかを採用することができる。

第1のポール部を構成する磁性膜のうち、前記ギャップ膜と隣接する前記磁性膜は、好ましくは、CoとFeとを含有する磁性材料で構成する。具体的にはCoFe又はCoFeNである。CoFe又はCoFeNは、飽和磁束密度が $2.2 \sim 2.4$ (T)のHiBs材料であり、 $0.1 \sim 0.2 \mu m$ のトラック幅において、 100 (Gb/p)以上の高記録面密度に対応できる。ギャップ膜と隣接する磁性膜は、FeN、CoFe又はCoFeNのスパッタ膜であってもよい。第2のポール部に関しても、ギャップ膜と隣接する磁性膜は、同様の磁性材料によって構成することが望ましい。

前記レジストマスクは、前記開口における壁面が磁性膜の膜面に対して直交していることが好ましい。レジストマスクをこのようなパターンにすると、第2のヨーク部のフレアポイントを、レジストマスクによって確実に覆い、かつ、レジストマスクの端縁をABSから遠い位置に設定し、Ion Milling時のボールに対する金属成分の再付着を回避することができる。

本発明は、更に、薄膜磁気ヘッドとヘッド支持装置とを組み合わせた磁気ヘッド装置、及び、この磁気ヘッド装置と磁気記録媒体（ハードディスク）とを組み合わせた磁気記録再生装置についても開示する。

本発明の他の目的、構成及び利点については、添付図面を参照し、更に詳しく説明する。図面は単なる例示にすぎない。

BRIEF DESCRIPTION OF DRAWINGS

図1は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドをABS側から見た平面図；

図2は、図1に示した薄膜磁気ヘッドの断面図；

図3は、図1、図2に示した薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分の構造を、拡大して示す断面図；

図4は、図3に示した電磁変換部分をABS側から見た図；

図5は、図3及び図4に示した電磁変換部分のうち、書き込み素子の部分を切り取って示す斜視図；

図6は、図3乃至図5に示した電磁変換部分における書き込み素子のコイル構造を示す平面図；

図7は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分について、別の実施例を、拡大して示す断面図；

図8は、図7に示した電磁変換部分をABS側から見た図；

図9は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの電磁変換部分について、更に別の実施例を、拡大して示す断面図；

図10は、図9に示した電磁変換部分をABS側から見た図；

図11は、図3乃至図6に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図；

図12は、図11に示した工程の後の工程を示す図；

図 1 3 は、図 1 2 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 4 は、図 1 3 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 5 は、図 1 4 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 6 は、図 1 5 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 7 は、図 1 6 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 8 は、図 1 7 に示した工程の後の工程を示す図；
図 1 9 は、図 1 8 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 0 は、図 1 9 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 1 は、図 2 0 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 2 は、図 2 1 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 3 は、図 2 2 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 4 は、図 2 3 に示した工程を A B S 側から見た図；
図 2 5 は、図 2 3 及び図 2 4 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 6 は、図 2 5 に示した工程を A B S 側から見た図；
図 2 7 は、図 2 5 に示した工程を平面視した図；
図 2 8 は、図 2 5 ～図 2 7 に示した工程の後の工程を示す図；
図 2 9 は、図 2 8 に示した工程を A B S 側から見た図；
図 3 0 は、図 2 8 及び図 2 9 に示した工程において、書き込み素子の部分を
切り取って示す斜視図；
図 3 1 は、図 2 8 ～図 3 0 に示した工程を平面視した図；
図 3 2 は、図 2 8 ～図 3 1 に示した工程の後の工程を示す図；
図 3 3 は、図 3 2 に示した工程を A B S 側から見た図；
図 3 4 は、図 3 2 及び図 3 3 に示した工程の後の工程を示す図；
図 3 5 は、図 3 4 に示した工程を A B S 側から見た図；
図 3 6 は、図 3 4 及び図 3 5 に示した工程の詳細を示す図；
図 3 7 は、従来の工程を示す；
図 3 8 は、図 3 6 に示した工程を経て得られた第 2 のヨーク部のパターンを
示す図；
図 3 9 は、図 3 7 に示した従来工程を経て得られた第 2 のヨーク部のパター

ンを示す図；

図４０は、図７及び図８に示した薄膜磁気ヘッドの工程を示す図；

図４１は、図４０に示した工程の後の工程を示す図；

図４２は、図４１に示した工程の後の工程を示す図；

図４３は、図４２に示した工程の後の工程を示す図；

図４４は、図４３に示した工程の後の工程を示す図；

図４５は、図４４に示した工程の後の工程を示す図；

図４６は、図４５に示した工程の後の工程を示す図；

図４７は、図４６に示した工程の後の工程を示す図；

図４８は、図４７に示した工程の後の工程を示す図；

図４９は、図４８に示した工程の後の工程を示す図；

図５０は、図４９に示した工程の後の工程を示す図；

図５１は、図５０に示した工程の後の工程を示す図；

図５２は、図５１に示した工程をABS側から見た図；

図５３は、図５１及び図５２に示した工程の後の工程を示す図；

図５４は、図５３に示した工程をABS側から見た図；

図５５は、図５３及び図５４に示した工程の後の工程を示す図；

図５６は、図５５に示した工程をABS側を示す図；

図５７は、図５５及び図５６に示した工程の後の工程を示す図；

図５８は、図５７に示した工程を、ABS側から見た図；

図５９は、図９及び図１０に示した薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図；

図６０は、図５９に示した工程の後の工程を示す図；

図６１は、図６０に示した工程の後の工程を示す図；

図６２は、図６１に示した工程をABS側から見た図；

図６３は、図６１及び図６２に示した工程の後の工程を示す図；

図６４は、図６３に示した工程をABS側から見た図；

図６５は、図６５に示した工程の後の工程を示す図；

図６６は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドを用いた磁気ヘッド装置の正面図；

図６７は、図６６に示した磁気ヘッド装置を底面側（ABS側）から見た図；

及び

図68は、本発明に係る薄膜磁気ヘッド及び磁気ヘッド装置と磁気記録媒体とを組み合わせた磁気記録再生装置を概略的に示す斜視図である。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

1. 薄膜磁気ヘッド

図1～図4を参照すると、本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、スライダ5と、書き込み素子2と、読み取り素子3とを含む。スライダ5は、例えば、 Al_2O_3 - TiC 等なる基体15の表面に、 Al_2O_3 、 SiO_2 等の絶縁膜16を設けた（図3参照）セラミック構造体である。スライダ5は、媒体対向面に浮上特性制御用の幾何学的形状を有している。そのような幾何学的形状の代表例として、図示では、ABS側の基底面50に、第1の段部51、第2の段部52、第3の段部53、第4の段部54、及び、第5の段部55を備える例を示してある。基底面50は、矢印F1で示す空気の流れ方向に対する負圧発生部となり、第2の段部52及び第3の段部53は、第1の段部51から立ち上がるステップ状の空気軸受けを構成する。第2の段部52及び第3の段部53の表面は、ABSとなる。第4の段部54は、基底面50からステップ状に立ち上がり、第5の段部55は第4の段部54からステップ状に立ちあがっている。電磁変換素子2、3は第5の段部55に設けられている。

電磁変換素子2、3は、書き込み素子2と、読み取り素子3とを含む。書き込み素子2及び読み取り素子3は、空気の流れ方向Aで見て、空気流出端（トレーリング、エッジ）の側に備えられている。

図3、図4を参照するに、書き込み素子2は、第1のヨーク部211と、第2のヨーク部221、222と、アルミナ等なるギャップ膜24と、第1のポール部P1と、第2のポール部P2と、第1のコイル231と、第2のコイル232とを有している。第1のヨーク部211は、第1の磁性膜によって構成されている。図示実施例において、第1のヨーク部211は一層の第1の磁性膜によって構成されているので、第1のヨーク部211と第1の磁性膜とは同義である。以下の説明において、その簡単化のため、第1のヨーク部211を第1の磁性膜211と表現することがある。

第1の磁性膜211は、絶縁膜34によって支持され、その表面は実質的に平坦な平面となっている。絶縁膜34は、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 AlN またはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第2のヨーク部221、222は、第1の磁性膜211とはインナーギャップを介して向き合っている。図示実施例において、第2のヨーク部221、222は、第2の磁性膜221と第3の磁性膜222とを積層した構造を有する。説明の簡単化のため、第2のヨーク部221、222を、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222と表現することがある。

第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222は、例えば、 NiFe 、 CoFe 、 CoFeN 、 CoNiFe 、 FeN または FeZrN 等の磁性材料から選択することができる。第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222のそれぞれは、各膜厚が、例えば、 $0.25 \sim 3 \mu\text{m}$ の範囲に設定される。このような第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222はフレームメッキ法によって形成できる。

図示実施例において、第1の磁性膜211は、 CoFeN または CoNiFe のいずれかによって構成するものとする。第3の磁性膜222は CoNiFe によって構成し、第2の磁性膜221は飽和磁束密度の高い CoFeN で構成することができる。

第1の磁性膜211、第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221の先端部は、微小厚みのギャップ膜24を隔てて対向する第1のポール部P1及び第2のポール部P2の一部を構成しており、第1のポール部P1及び第2のポール部P2において書き込みを行なう。ギャップ膜24は、非磁性金属膜またはアルミナ等の無機絶縁膜によって構成される。

図示実施例において、第1のポール部P1は、第1の磁性膜211の端部によって構成される第1のポール片の上に、第2のポール片212、第3のポール片213及び第4のポール片214を、この順序で積層した構造を有する。第2のポール片212、第3のポール片213及び第4のポール片214は、 CoFeN または CoNiFe などのHiBs材によって構成する。

第2のポール部P2は、ギャップ膜24の上に、第2の磁性膜221の端部によって構成される第5のポール片及び第3の磁性膜222の端部によって構

成される第6のポール片224を、順次に積層した構造となっている。

図4を参照すると、第1の磁性膜211の端部、第2のポール片212及び第3のポール片213は、ABSのトラック幅方向に広がりを見せているが、第4のポール片214は、その上端側が、両側から、狭トラック幅PW（図4参照）となるように削減されており、その上に積層されているギャップ膜24、第2の磁性膜221の端部によって構成される第5のポール片及び第3の磁性膜222の端部によって構成される第6のポール片224も、第4のポール片214とほぼ同じ狭トラック幅PWとなっている。これにより、高密度記録に対応した狭トラック幅PWが得られる。

第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221は、更に、第1の磁性膜211との間にインナーギャップを保って、ABS52、53の後方に延び、バックギャップ片216、217及び218において、第1の磁性膜211に結合されている。

図示実施例において、インナーギャップは、絶縁膜254～256及びギャップ膜24によって埋められており、第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221によって構成される第2のヨーク部は、ギャップ膜24の上に形成されている。

第2の磁性膜221、及び、第3の磁性膜222によって構成される第2のヨーク部は、広い部分223と、細い部分224とを含む。広い部分223は、表面が平坦で、ABS52、53を基準にして後方側のバックギャップ部216～218により、第1の磁性膜211と結合されている。これにより、第1の磁性膜211、バックギャップ部216～218、第2の磁性膜221、第3の磁性膜222及び書き込みギャップ膜24をめぐる書き込み磁気回路が構成される。細い部分224は第2のポール部P2を構成する。

第1のポール部P1は、ギャップ膜24と隣接する磁性膜、すなわち第4のポール片214が、幅方向の両側において、第2のポール部P2の幅に合わせてエッチングされ、エッチングによって生じた両側の凹部の底部に、第4のポール片214の残部S1、S2が存在する。残部S1、S2は膜厚が第4のポール片214の根元部に近づくにつれて増大する。このような構造によれば、ギャ

ップ膜 2 4 と隣接する第 4 のポール片 2 1 4 の磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。図示実施例では、残部 S1、S2 はなだらかな傾斜面となっているが、これに限定する趣旨ではない。

ギャップ膜 2 4 と隣接する第 4 のポール片 2 1 4 は、Co 及び Fe を含む磁性材料でなる。より具体的には、CoFe 又は CoFeN の何れかでなる。CoFe 又は CoFeN は、飽和磁束密度が 2.2 ~ 2.4 (T) の HiBs 材料である。第 4 のポール片 2 1 4 は、FeN、CoFe 又は CoFeN のスパッタ膜であってもよい。第 2 のポール部 P 2 に関しても、ギャップ膜 2 4 と隣接する第 2 の磁性膜 2 2 1 は、同様の磁性材料によって構成することが望ましい。

以上の組み合わせにより、0.1 ~ 0.2 μm のトラック幅 PW を有し、100 (Gb/p) 以上の高記録面密度に対応できる高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッドを実現することが可能になる。

図示実施例において、コイルは、第 1 のコイル 2 3 1 と、第 2 のコイル 2 3 2 とを含む。第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 は、第 1 のヨーク部を構成する第 1 の磁性膜 2 1 1 の一面上に形成された第 1 の絶縁膜 2 5 1 の面上で、バックギャップ部 2 1 6 ~ 2 1 8 の周りを、渦巻き状に周回し、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第 2 の絶縁膜 2 5 2 を介して嵌め込まれ、同一方向の磁束を生じるように接続される。

第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の間に存在する第 2 の絶縁膜 2 5 2 は、例えば、Chemical Vapor Deposition(以下、CVD と称する)を適用して、0.1 μm 程度の極薄膜の Al_2O_3 膜として形成できる。したがって、バックギャップ部 2 1 6 ~ 2 1 8 と第 1 のポール部 P 1 との間で、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部 P 1、P 2 におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 は、一方が、他方のコイルター

ン間のスペースに、第2の絶縁膜252を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長YLを短くすることができる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル231及び第2のコイル232は、巻き方向が同一になるので、第1のコイル231の内端と、第2のコイル232の外端とを接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。あるいは、第1のコイル231及び第2のコイル232を並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

図示実施例において、第1のコイル231及び第2のコイル232は、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対して、共通の絶縁膜254を付与することができるので、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に更に他のコイルを形成する際に、安定したベースを提供し、他のコイルを高精度のパターンとして形成することが可能になる。

第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、更に、他のコイルを形成する際は、第1のコイル231及び第2のコイル232の平坦化とあわせて、第2のポール片212及びバックギャップ片216の上面も、コイルの導体面と同一平面となるようにする。こうすることにより、他のコイルを形成する際に必要となるポール片及びバックギャップ片を、平坦化された第2のポール片212及びバックギャップ片216の上面に、高精度パターンとして形成することができる。

次に、図3～図6を参照すると、第1及び第2のコイル231、232は、バックギャップ部216～218の周りを周回している。第1のコイル231は、スパイラル状であって、第1の磁性膜211の平坦な一面に形成された絶縁膜251の面上に配置され、絶縁膜251の面に対して垂直となる1つの軸の周りを平面状に周回する。第1のコイル231は、Cu（銅）などの導電金属

材料によって構成される。絶縁膜 2 5 1 は、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 AlN または DLC 等の無機絶縁材料によって構成される。

第 2 のコイル 2 3 2 もスパイラル状であって、第 1 のコイル 2 3 1 のコイルターン間のスペースに、絶縁膜 2 5 2 を介して嵌め込まれ、軸の周りを平面状に周回する。第 2 のコイル 2 3 2 も、 Cu (銅) などの導電金属材料によって構成される。絶縁膜 2 5 2 も、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 AlN または DLC 等の無機絶縁材料によって構成される。

第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の周りは、絶縁膜 2 5 3 によって埋められている (図 3 参照)。絶縁膜 2 5 3 も、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 AlN または DLC 等の無機絶縁材料によって構成される。

第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の間に存在する絶縁膜 2 5 2 は、例えば、 CVD を適用して、 $0.1\ \mu\text{m}$ 程度の極薄膜の Al_2O_3 膜として形成できる。したがって、バックギャップ片 2 1 6 ~ 2 1 8 とポール部 $P1$ 、 $P2$ との間で、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部 $P1$ 、 $P2$ におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第 2 のコイル 2 3 2 は、第 1 のコイル 2 3 1 のコイルターン間のスペースに、絶縁膜 2 5 2 を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長 YL (図 3 参照) を短くし、高周波特性を改善することができる。

第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 は同一方向の磁束を生じるように接続される。第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 は、巻き方向が同一になるので、第 1 のコイル 2 3 1 の内端 2 8 1 と、第 2 のコイル 2 3 2 の外端 2 8 3 とを、接続導体 2 8 2 で接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。第 1 のコイル 2 3 1 の外端 2 8 6 は接続導体 2 8 5 により端子 2 8 4 に接続され、更に、リード導体 2 9 1 により

外部に導かれ、取り出し電極に接続される。第2のコイル232の内端287は接続導体288により、端子289に接続され、更に、リード導体292により外部に導かれ、取り出し電極に接続される。

図6の図示とは異なって、第1のコイル231及び第2のコイル232を並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

しかも、第2のコイル232と、第2のポール片212及びバックギャップ片216とは、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜となり得る絶縁膜252によって隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を、更に促進することができる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対して、共通の絶縁膜254を付与することができるので、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、平坦な安定したベース面を形成し、その後に高精度のパターンを形成することができる。

この場合、第1のコイル231は、メッキ膜であり、第1の磁性膜211の一面に付着された絶縁膜251の上に形成される。第2のコイル232も、メッキ膜であり、第1のコイル231のコイルターン間に生じるスペース内において、絶縁膜252の上に形成される。絶縁膜252は、スペースの底面及び両側面に形成される。

保護膜258は、書き込み素子2の全体を覆っている。保護膜258は、 Al_2O_3 または SiO_2 等の無機絶縁材料で構成されている。

読み取り素子3の付近には、第1のシールド膜31と、絶縁膜32と、第2のシールド膜33とが備えられている。第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33は、NiFe等によって構成される。第1のシールド膜31は、 Al_2O_3 、 SiO_2 等の絶縁膜16の上に形成されている。絶縁膜16は $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ 等となる基体15の表面に形成されている。

読み取り素子3は、第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33の間の

絶縁膜 3 2 の内部に配置されている。読み取り素子 3 は、端面が ABS 5 2、5 3 に臨んでいる。読み取り素子 3 は、巨大磁気抵抗効果素子（GMR 素子）を含む。GMR 素子は、スピバルブ膜または強磁性トンネル接合素子の何れかによって構成することができる。

次に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図 7、図 8 を参照して説明する。図 7 及び図 8 において、図 1 ～図 6 に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドの基本的構造は、図 1 ～図 6 に図示した薄膜磁気ヘッドと同じである。

図 1 ～図 6 に図示され説明された薄膜磁気ヘッドと相違する点の 1 つは、第 1 のコイル 2 3 1 の内端 2 8 1 の上に、導体層 2 8 2 ～2 8 5 を積層し、第 1 のコイル 2 3 1 を第 2 のコイル 2 3 2 に接続するための接続導体を形成したことである。導体層 2 8 2 ～2 8 5 は、第 3 のポール片 2 1 3、第 4 のポール片 2 1 4、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 と同一の工程によって形成され、パターン化されたものである。

従って、図 7 及び図 8 に示した薄膜磁気ヘッドによれば、図 1 ～図 6 に示した薄膜磁気ヘッドの有する作用効果が得られる他、第 1 のコイル 2 3 1 を第 2 のコイル 2 3 2 に接続するための接続導体形成工程が簡単化されるという利点を得られる。

更に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図 9 及び図 1 0 を参照して説明する。図 9 及び図 1 0 において、図 1 ～図 6 に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドの基本的構造は、図 1 ～図 6 に図示され、説明された薄膜磁気ヘッドと同じである。

図 1 ～図 6 に図示され説明された薄膜磁気ヘッドと相違する点の 1 つは、第 1 のコイル 2 3 1 の内端 2 8 1 の上に、導体層 2 8 2 ～2 8 4 を積層し、第 1 のコイル 2 3 1 を第 2 のコイル 2 3 2 に接続するための接続導体を形成したことである。導体層 2 8 2 ～2 8 4 は、第 3 のポール片 2 1 3、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 と同一の工程によって形成され、パターン化されたものである。図 9 及び図 1 0 に示した薄膜磁気ヘッドによれば、図 1 ～図 6

に示した薄膜磁気ヘッドの有する作用効果が得られる他、第1のコイル231を第2のコイル232に接続するための接続導体形成工程が簡単化されるという利点が得られる。

もう一つの相違点は、第1のコイル231のみを備え、第1のコイル231のコイルターン間に生じるスペースを、絶縁膜252で埋め、絶縁膜252を絶縁膜254で覆ったことである。

2. 薄膜磁気ヘッドの製造方法

(1) 実施例1

製造方法に係る実施例1は、上述した薄膜磁気ヘッドのうち、第1のコイル231及び第2のコイル232を有する第1の態様に係る薄膜磁気ヘッド(図1～図6)の製造プロセスである。図11～図35に図示するプロセスは、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

<図11の状態に至るプロセス>

図11を参照すると、基体15の上に付着された絶縁膜16の上に、第1のシールド膜31、読み取り素子3、絶縁膜32、第2のシールド膜33、絶縁膜34及び第1の磁性膜211を、周知のプロセスによって形成する。

具体例を述べると、絶縁膜16はアルミナ膜であり、例えば、3 μ m程度の膜厚となるように形成する。第1のシールド膜31は、NiFeなどの磁性材料を用い、フレイムメッキ法によって2～3 μ mの膜厚として形成する。絶縁膜32は、一般には、2段階ステップで形成される。第1ステップでは、3～4 μ mの膜厚のアルミナ膜を形成した後、その表面をCMPで平坦化し、その後、読み取り素子となるGMR素子3を形成する。その後、第2ステップで、GMR素子3を覆うアルミナ膜を成膜する。第2のシールド膜33はNiFeなどの磁性材料を用い、1.0～1.5 μ mの膜厚となるように形成する。絶縁膜34は、0.2～0.3 μ mのアルミナ膜として形成する。

第1の磁性膜211は、CoNiFe(2.1T)又はCoFeN(2.4T)を用い、3.0～4.0 μ mの膜厚として形成する。第1の磁性膜211のうち、第1のポール片となる端部に、NiFe(80%:20%)もしくはNiFe(45%:

55%)のメッキ膜、又は、FeAlN、FeN、FeCo、CoFeNもしくはFeZrNのスパッタ膜を、0.5~0.6 μ mの厚みで形成してもよい。

その後、第1の磁性膜211の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、例えば、0.2 μ mの厚みの絶縁膜251を成膜し、絶縁膜251の表面にSeed膜260を形成する。Seed膜260は、絶縁膜251の表面及び第1の磁性膜211の表面を覆うように形成する。Seed膜260は、Cuメッキ下地膜として適切な材料を用い、Cu-CVDの適用によって、50nm~80nmの膜厚となるように形成する。

次に、Seed膜260の上にフォトリソリスト膜を、スピンコート法などの適用によって形成した後、コイルパターンを有するマスクを用いて露光し、現像する。これにより、所定のパターンを有するレジストフレームが形成される。フォトリソリスト膜は、ポジティブフォトリソリスト、ネガティブフォトリソリストの何れでもよい。

次に、選択的Cuメッキ処理を実行し、コイル形成用パターンの内部に存在するSeed膜260の上に、第1のコイル231を、例えば3~3.5 μ mの厚みとなるように成長させる。図11は、上記選択的Cuメッキ処理終了後の状態を示している。

<図12の状態に至るプロセス>

次に、第2のポール片212及びバックギャップ片216を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。

次に、選択的メッキ処理を行い、第1の磁性膜211の上に第2のポール片212及びバックギャップ片216を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。これにより、図12に示すように、第1の磁性膜211の一面上に、ポール片212及びバックギャップ片216が間隔を隔てて形成される。ポール片212及びバックギャップ片216は、例えば、CoNiFe(1.9~2.2T)により、3.5~4.0 μ mの膜厚となるように成膜する。

<図13の状態に至るプロセス>

次に、図 1 3 に示すように、第 1 のコイル 2 3 1、ポール片 2 1 2 及びバックギャップ片 2 1 6 を覆うフォトレジスト膜 RS 2 を形成する。そして、フォトレジスト膜 RS 2 をマスクとして、第 1 の磁性膜 2 1 1 を、Reactive Ion Etching(以下、RIE と称する)又は Ion Beam Etching(以下 IBE と称する)などのドライエッチングを実行し、パターニングする。

<図 1 4 の状態に至るプロセス>

図 1 3 に示した状態において、フォトレジスト膜 RS 2 に対してフォトリソグラフィ工程を実行し、図 1 4 に示すように、第 1 のコイル 2 3 1 及びその周囲を覆うレジストカバー FR 2 を形成し、更に、レジストカバー FR 2 の全体を覆う絶縁膜 2 5 3 を付着させる。絶縁膜 2 5 3 は、4 ~ 5 μm の範囲の膜厚となるように形成する。図 1 4 は、絶縁膜 2 5 3 を形成した後の状態を示している。

<図 1 5 の状態に至るプロセス>

次に、絶縁膜 2 5 3 及びレジストカバー FR 2 を、Chemical Mechanical Polishing (以下、CMP と称する) によって研磨し、平坦化する。CMP にあたっては、アルミナ系スラリーを用いる。図 1 5 は CMP 処理を施した後の状態を示している。

<図 1 6 の状態に至るプロセス>

次に、レジストカバー FR 2 を除去した後、絶縁膜 2 5 1、2 5 3、第 1 のコイル 2 3 1、第 2 のポール片 2 1 2 及びバックギャップ片 2 1 6 の表面及び側面に、0.1 ~ 0.15 μm 程度の膜厚を有する絶縁膜 2 5 2 を付着させる。絶縁膜 2 5 2 を Al_2O_3 膜として形成する場合、180 ~ 220 $^{\circ}\text{C}$ の温度条件で、 H_2O 、 N_2 、 N_2O または H_2O_2 の減圧雰囲気中に、 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ または AlCl_3 を交互に断続的に噴射するアルミナ CVD 膜形成方法を採用することができる。

更に、絶縁膜 2 5 2 の表面に、Cu-CVD によって、0.05 ~ 0.1 μm の範囲の膜厚となるように、Seed 膜 2 6 1 を付着させる。Seed 膜 2 6 1 は、Cu を、例えば、50 nm の膜厚となるようにスパッタした後、CVD を適用して、例えば 50 nm の膜厚の Cu 膜を成膜することによって得られる。この方法によれば、狭い領域内で、ステップカバレッジの良好な成膜を行うことができる。

次に、Seed 膜 2 6 1 の上に、第 2 のコイルとなるメッキ膜 2 3 2 を、例えば、

3～4 μm の膜厚となるように形成する。メッキ膜232は、Cuを主成分とする。図16は、メッキ膜232を形成した後の状態を示している。

<図17の状態に至るプロセス>

次に、図17に図示するように、メッキ膜232をCMPによって研磨し、平坦化する。このCMPによって、第2のコイル232が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第1のコイル231から、絶縁膜252によって分離される。CMP後の第2のコイル232の膜厚は、例えば2.5～3.0 μm の範囲となる。CMPにおいては、第2のポール片212、バックギャップ片216および絶縁膜253の表面も、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面と同一の平面となるように研磨される。

<図18の状態に至るプロセス>

次に、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 Al_2O_3 であり、例えば、0.2～0.3 μm の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、第1のコイル231の内端281と第2のコイル232の外端283(図6参照)とを接続する接続導体282のためのレジストフレーム、第3のポール片213及びバックギャップ片217のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、フレームメッキを実行する。これにより、図18に示すように、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217が形成される。接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217は、CoFe、CoNiFe(1.9～2.1T)またはNiFeのメッキ膜であり、例えば、0.8～1.5 μm の範囲の膜厚を有する。

<図19の状態に至るプロセス>

次に、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜255を、例えば、1～2 μm の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜255、第3のポール片213、バックギャップ片217及び接続導体281の表面を、CMPによって研磨する。

この CMP は、第 3 のポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の膜厚が、例えば、 $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の範囲となるように実行する。図 1 9 は CMP 実行後の状態を示している。

<図 2 0 の状態に至るプロセス>

次に、図 2 0 に図示するように、絶縁膜 2 5 5、第 3 のポール片 2 1 3 及びバックギャップ片 2 1 7 の被研磨面に、第 4 のポール片 2 1 4 (図 3 参照) のための磁性膜 2 1 4 を、例えば、 $0.5 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタ形成する。磁性膜 2 1 4 は、 CoFeN (2.4 T)、 FeAlN 、 FeN 、 FeCo または FeZrN によって構成することができる。実施例では、磁性膜 2 1 4 は、 CoFeN (2.4 T) によって構成されている。更に、磁性膜 2 1 4 の表面に、フレイムメッキ法によって、 NiFe または CoNiFe などのパターンメッキ 2 5 0 を形成する。パターンメッキ 2 5 0 は、バックギャップ 2 1 6、2 1 7 及び第 3 のポール片 2 1 3 の真上に位置するように形成する。

<図 2 1 の状態に至るプロセス>

次に、図 2 1 に図示するように、パターンメッキ 2 5 0 をマスクとして、磁性膜 2 1 4 を、Ion Beam によってエッチングする。

<図 2 2 の状態に至るプロセス>

次に、アルミナなどでなる絶縁膜 2 5 6 を、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の膜厚となるようにスパッタし、その後、絶縁膜 2 5 6 を、パターンメッキ 2 5 0 が除去される位置まで、CMP によって研磨し平坦化する。図 2 2 は、この CMP 処理が終了した後の状態を示している。

<図 2 3、図 2 4 の状態に至るプロセス>

次に、CMP によって平坦化された面に、ギャップ膜 2 4 を $0.06 \sim 0.1 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。ギャップ膜 2 4 は、例えば、 Ru などの非磁性金属材料でなり、スパッタ等によって形成することができる。

次に、ギャップ膜 2 4 の表面、及び、平坦化面に、第 2 の磁性膜 2 2 1 を形成する。第 2 の磁性膜 2 2 1 は、 HiBs 材を用いて構成する。具体的には、 FeAlN 、 FeN 、 CoFe 、 CoFeN 、 FeZrN などの HiBs 材料のうち、特に、 CoFe 、 CoFeN が適している。第 2 の磁性膜 2 2 1 は、この後、第 3 の磁性膜をメッキによっ

て形成する際に、Seed 膜として用いられるものであり、例えば、0.3～0.6 μm の膜厚となるように形成する。

次に、第2の磁性膜221をSeed 膜として、フレイムメッキ法により、第3の磁性膜222を形成する。第3の磁性膜222は、例えば、NiFe（組成比55：45）、CoNiFe（組成比約67：15：18、1.9 T～2.1）、または、CoFe（組成比40：60、2.3 T）等によって構成される。その厚みは、3.5～4.0 μm の範囲である。第3の磁性膜222は、広い部分223と、細い部分224とを有するように形成される。広い部分223は、第2のヨーク部を構成する部分であり、細い部分224は第2のポール部を構成する部分である。図23、図24は、第3の磁性膜222を形成した後の状態を示している。

この後、第3の磁性膜222をマスクとして、Seed 膜として用いられた第2の磁性膜221を、Ion Milling でエッチングする。このときの Ion Beam の照射角度は、例えば、30～45度の範囲である。

<図25～図27の状態に至るプロセス>

次に、図25～図27に図示するように、第3の磁性膜222のうち、細い部分224を除き、第3の磁性膜222の広い部分223の全体を、レジストマスクFR3によって覆う。レジストマスクFR3は、5～7 μm の膜厚となるように付着させる。レジストマスクFR3は、第3の磁性膜222の上で凸状となり、第1のコイル231及び第2のコイル232をも覆うように広がる。

第2のヨーク部は、図27に図示するように、広い部分223を有するとともに、第2のポール部を構成する細い部分224に向かって、次第に幅が拡大するフレア部分225を含んでいる。レジストマスクFR3は、そのエッジが、フレアポイントFP1の近傍又はスロートハイトゼロの近傍において、細い部分224の表面に対して、直交するように形成してある。図示実施例では、レジストマスクFR3の対上がり位置は、フレアポイントFP1と一致しているが、対上がり位置は、ABSより後方側で、フレアポイントFP1の前後に設定できる。

<図28～図32の状態に至るプロセス>

次に、図 28～図 31 に図示するように、レジストマスク FR3 をエッチバックさせて、第 2 のヨーク部を構成する第 3 の磁性膜 222 の表面を露出させる。レジストマスク FR3 をエッチバックさせるプロセスとしては、 O_2 が混入されているプラズマによるドライエッチングプロセス、ハロゲン系又はフロン系のプラズマアッシングによる等方性のドライエッチングプロセス、又は、異方性のドライエッチングプロセスの何れかを採用することができる。これらのエッチングプロセスによれば、平坦性に優れたドライエッチングを行うことができる。上述した異方性のドライエッチングプロセスは、 O_2 又はハロゲン系ガス、例えば、 SF_4 、 SF_6 などのフロン系ガスを用いて行うことができる。

エッチバックのプロセスにより、レジストマスク FR3 が、第 2 の磁性膜 221 及び第 3 の磁性膜 222 の外周縁に沿い、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着する。このため、その後のエッチングプロセスにおいて、第 2 の磁性膜 221 及び第 3 の磁性膜 222 の外周縁が、Ion Beam などのエッチング手段によってアタックされることがなくなり、第 2 の磁性膜 221 及び第 3 の磁性膜 222 によって構成される第 2 のヨーク部が高精度のパターンとして形成されることになる。

第 2 の磁性膜 221 及び第 3 の磁性膜 222 は、図 30、図 31 に図示するように、広い部分 223 を有するとともに、第 2 のポール部を構成する細い部分 224 に向かって、次第に幅が拡大するフレア部分 225 を含んでいる。本発明では、フレア部分 225 についても、レジストマスクが、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着するから、その後のエッチングプロセスにおいて、フレア部分 225 の外周縁も、Ion Beam などのエッチング手段によってアタックされることがなくなる。したがって、フレア部分 225 と細い部分 224 との境界に生じるフレアポイント FP1 の変動を回避し、薄膜磁気ヘッドとしたときの ABS からフレアポイント FP1 までの距離を、一定した微小寸法に設定し、オーバーライト特性を確保することができる。

<図 32、図 33 の状態に至るプロセス>

次に、図 32、33 に図示するように、レジストマスク FR3 において、第 2

のポール部に相当する細い部分に設けられた開口を通して、その内部に含まれる磁性膜 2 2 1、2 2 2 及び／又はギャップ膜 2 4 をエッチングする。このエッチングは、第 1 のポール部を構成する第 4 のポール片 2 1 4 の表面が現れるように実行する。

<図 3 4、図 3 5 の状態に至るプロセス>

図 3 2 及び図 3 3 に図示したプロセスが終了した後、レジストマスク FR 3 を除去し、IBE により、追加的なポールエッチングを行う。これにより、図 3 4、及び、図 3 5 に示した状態になる。

上記追加的なエッチングによって、細い部分 2 2 4 の両側に凹部が生じる。このとき、第 1 のポール部 P1 を構成する磁性膜 2 1 1 ~ 2 1 4 のうち、ギャップ膜 2 4 と隣接する磁性膜 2 1 4 (第 4 のポール片) については、その全部をエッチングするのではなく、凹部の底部に、当該磁性膜 2 1 4 の残部 S1、S2 が残るようにエッチングする。エッチング手段として、IBE を用いた場合、Ion Beam の照射角度の選定、及び、細い部分の幾何学的構造によって、磁性膜 2 1 4 は、底部の残部 S1、S2 の膜厚が、第 1 のポール部 P1 の根元部に近づくにつれて増大するようにエッチングされる。このような構造によれば、トラック幅を狭小化したままで、ギャップ膜 2 4 と隣接する磁性膜 2 1 4 の断面積を確保し、その磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。

この後、アルミナなどでなる保護膜 2 5 8 (図 3、図 4 参照) を、例えば、20 ~ 40 μm の膜厚となるように形成して、プロセスが完了する。この後は、さらに、ウエハから、単品の薄膜磁気ヘッドを取り出すための切断加工、スロートハイト設定のための研磨工程、ABS の加工などの周知の工程が実行される。

次に、本発明に係るトリミング方法の利点について、従来トリミング方法と対比して説明する。

図 3 6 は本発明に係るトリミング方法を示す平面図、図 3 8 は図 3 6 に示したトリミングを経た後の状態を示す図である。図 3 6 を参照すると、上述したエッチバックのプロセスにより、レジストマスク FR3 が、第 2 のヨーク部を構成する第 3 の磁性膜 2 2 2 の外周縁に沿い、ミスアライメントを生じること

なく、自己整合的に、隙間なく完全に密着する。このため、その後のエッチングプロセスにおいて、第3の磁性膜222の外周縁が、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなり、第3の磁性膜222が高精度のパターンとして形成されることになる。

第3の磁性膜222は、広い部分223を有するとともに、第2のポール部を構成する細い部分224に向かって、次第に幅が拡大するフレア部分225を含んでいる。本発明では、フレア部分225についても、レジストマスクFR3が、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着するから、その後のエッチングプロセスにおいて、フレア部分225の外周縁も、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなる。したがって、フレア部分225と細い部分224との境界に生じるフレアポイントFP1の変動を回避し、薄膜磁気ヘッドとしたときのABSからフレアポイントFP1までの距離Aを、一定した微小寸法に設定し、オーバーライト特性を確保することができる。

図37は従来のトリミング方法を示す平面図、図39は図37のトリミングを経た後の状態を示す平面図である。従来は図37に図示するように、上部ヨークを構成する第3の磁性膜22の形状に沿って、コイル部分を覆うようにトリミング。マスクFR3を設けていた。

このために、上部ポールとなる細い部分224から上部ヨークとなる広い部分223にかけて、次第に幅が増大するフレア部分225が、Ion Beamによってトリミングされ、図39に示すように、幅の拡大を開始するフレアポイントFP1が、点FP2まで後退し、ABSからフレアポイントFP2までの距離Bまで拡大される。距離Bは距離Aよりも大きい($B > A$)。

この後退は、磁気ボリュームを減少させ、オーバーライト特性を劣化させる。なぜなら、フレア部分225において、フレアポイントFP1が、ABSに近いほど、優れたオーバーライト特性が得られるからである。トラック幅が $0.2\mu\text{m}$ 以下に狭小化された場合は、特に、フレアポイントをABSに近づけなければならない。

本発明によれば、これら、従来のトリミング方法に付随する問題点を解決で

きることは、上述した説明から明らかである。

(2) 実施例 2

実施例 2 は、図 7、図 8 に図示された薄膜磁気ヘッドの製造方法に係る。図 40～図 58 はその製造プロセスを示している。図 40～図 58 に図示するプロセスも、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

<図 40 の状態に至るプロセス>

図 40 を参照すると、基体 15 の上に付着された絶縁膜 16 の上に、第 1 のシールド膜 31、読み取り素子 3、絶縁膜 32、第 2 のシールド膜 33、絶縁膜 34 及び第 1 の磁性膜 211 が、周知のプロセスによって形成されている。

具体例を述べると、絶縁膜 16 はアルミナ膜であり、例えば、 $3\mu\text{m}$ 程度の膜厚となるように形成する。第 1 のシールド膜 31 は、NiFe などの磁性材料を用い、フレイムメッキ法によって $2\sim 2.5\mu\text{m}$ の膜厚として形成する。絶縁膜 32 は、一般には、2 段階ステップで形成される。第 1 ステップでは、 $3\sim 4\mu\text{m}$ の膜厚のアルミナ膜を形成した後、その表面を CMP で平坦化し、その後、読み取り素子となる GMR 素子 3 を形成する。その後、第 2 ステップで、GMR 素子 3 を覆うアルミナ膜を成膜する。第 2 のシールド膜 33 は NiFe などの磁性材料を用い、 $1.0\sim 1.5\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。絶縁膜 34 は、 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ のアルミナ膜として形成する。

第 1 の磁性膜 211 は、フレイムメッキ法により、 $3.0\sim 4.0\mu\text{m}$ の範囲の膜厚となるように形成する。第 1 の磁性膜 211 は、CoFe (1.9T) または CoFeN (2.4T) で構成することができる。第 1 の磁性膜 211 は、NiFe ($80\%:20\%$)、NiFe ($45\%:55\%$) または CoNiFe のメッキ膜で構成できるほか、FeAlN、FeN、FeCo、CoFeN または FeZrN などのスパッタ膜により、 $0.5\sim 0.6\mu\text{m}$ の膜厚として形成することもできる。

その後、第 1 の磁性膜 211 の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、絶縁膜 251 を、例えば、 $0.2\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成した後、選択的に開口部 OP1、OP2 を形成し、絶縁膜 251 の面上に、選択的なフレイムメッキ法により、第 1 のコイル 231 を形成する。第 1

のコイル 2 3 1 は、例えば $3 \sim 3.5 \mu\text{m}$ の厚みとなるように成長させる。図 4 0 は、上記選択的 Cu メッキ処理終了後の状態を示している。

<図 4 1 の状態に至るプロセス>

図 4 0 の状態から図 4 1 の状態に至るプロセスでは、開口部 OP 1、OP 2 をとおして、選択的メッキ処理を行い、第 1 の磁性膜 2 1 1 の上にポール片及びバックギャップ片を、例えば $3.5 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成し、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。これにより、図 4 1 に示すように、第 1 の磁性膜 2 1 1 の一面上に、ポール片 2 1 2 及びバックギャップ片 2 1 6 が間隔を隔てて形成される。ポール片 2 1 2 及びバックギャップ片 2 1 6 は、CoNiFe (組成比 6 7 : 1 5 : 1 8 1.8 ~ 1.9 T) 又は FeCo (組成比 6 0 : 4 0 2.4 T) で構成することができる。

<図 4 2 の状態に至るプロセス>

図 4 1 の状態から図 4 2 の状態に至るプロセスでは、第 1 のコイル 2 3 1、ポール片 2 2 1 及びバックギャップ片 2 1 6 を覆うフォトレジスト膜 RS4 を形成する。そして、フォトレジスト膜 RS4 によるレジストカバーをマスクにして、IBE (以下、IBE と称する) により、第 1 の磁性膜 2 1 1 を、選択的にエッチングし、パターニングする。

<図 4 3 の状態に至るプロセス>

図 4 2 の状態から図 4 3 の状態に至るプロセスでは、図 4 2 に図示されたレジストカバー RS4 を除去した後、図 4 3 に図示するように、絶縁膜 2 5 1、第 1 のコイル 2 3 1、第 2 のポール片 2 1 2 及びバックギャップ片 2 1 6 の表面及び側面に、絶縁膜 2 5 2 を付着させる。絶縁膜 2 5 2 は、具体的には、 Al_2O_3 -CVD によって形成されるもので、 $0.05 \sim 0.15 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。絶縁膜 2 5 2 は、減圧雰囲気下で、 100°C 以上の温度で形成する。絶縁膜 2 5 2 を Al_2O_3 膜として形成する場合、 H_2O 、 N_2 、 N_2O または H_2O_2 の減圧雰囲気中に、 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ または AlCl_3 を交互に断続的に噴射するアルミナ CVD 膜形成方法を採用することができる。

次に、絶縁膜 2 5 2 の表面に、Seed 膜 2 6 1 を付着させる。Seed 膜 2 6 1 は、例えば、膜厚 50 nm の Cu スパッタ膜、及び、膜厚 50 nm の Cu-CVD

膜の積層膜として構成することができる。Seed 膜 2 6 1 を、Cu-CVD 膜として形成することにより、Seed 膜 2 6 1 を、第 1 のコイル 2 3 1 の凹凸に正確に追従して、第 1 のコイル 2 3 1 の側面、底面、底角及び表面に、良好なステップカバレッジを保って付着させることができる。

<図 4 4 の状態に至るプロセス>

図 4 3 の状態から図 4 4 の状態に至るプロセスでは、Seed 膜 2 6 1 の上に、第 2 のコイルとなるメッキ膜 2 3 2 を、フレームメッキ法により、例えば、3 ～ 5 μm の膜厚となるように形成する。

Seed 膜 2 6 1 は、Cu-CVD 膜として形成され、第 1 のコイル 2 3 1 の凹凸に正確に追従して、第 1 のコイル 2 3 1 の側面、底面、底角及び表面に、良好なステップカバレッジを保って付着させてあるから、第 1 のコイル 2 3 1 のコイルターン間に生じる細く長い空間に対して、底部にキーホールを生じることなく、メッキ膜 2 3 2 を形成することができる。メッキ膜 2 3 2 は、Cu を主成分とし、選択メッキ法によって形成する。メッキ膜 2 3 2 によって覆われていない Seed 膜 2 6 1 は、希塩酸、希硫酸もしくは硫酸銅などを用いたウェットエッチング、又は、Ion Milling などのドライエッチングによって除去する。

その後、メッキ膜 2 3 2 及びメッキ膜 2 3 2 によって覆われていない領域、及び、メッキ膜 2 3 2 を覆うように、 Al_2O_3 となる絶縁膜 2 5 3 を形成する。絶縁膜 2 5 3 は、3 ～ 5 μm のスパッタ膜として形成する。

<図 4 5 の状態に至るプロセス>

図 4 4 の状態から図 4 5 の状態に至るプロセスでは、絶縁膜 2 5 3 及びメッキ膜 2 3 2 を CMP によって研磨し、平坦化する。これにより、第 2 のコイル 2 3 2 が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第 1 のコイル 2 3 1 から、絶縁膜 2 5 2 によって分離される。CMP においては、第 2 のポール片 2 1 2、バックギャップ片 2 1 6 および絶縁膜 2 5 3 の表面も、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 の表面と同一の平面となるように研磨される。

<図 4 6 の状態に至るプロセス>

図 4 5 の状態から図 4 6 の状態に至るプロセスでは、第 1 のコイル 2 3 1 及

び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 Al_2O_3 であり、例えば、 $0.2\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254に対して、リアクティブイオンエッチング（以下RIEと称する）又はIon Millingを施し、第3のポール片213及びバックギャップ片217（図7、図8参照）のための開口を形成する。その後、メッキにより、第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成する。第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成した後は、レジストフレームは除去する。第3のポール片213及びバックギャップ片217は、 CoFe （2.2T）又は CoNiFe （1.9T又は2.1T）のメッキ膜であり、例えば、 $1\sim 2\mu\text{m}$ の範囲の膜厚を有する。

次に、第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜255を、例えば、 $1\sim 2\mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の表面を、CMPによって研磨する。このCMPにより、第3のポール片213及びバックギャップ片217は、絶縁膜255の内部に自己整合的に埋め込まれることになる。

<図47、図48の状態に至るプロセス>

図46の状態から図47の状態に至るプロセスでは、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の被研磨面に、磁性膜214を、例えば、 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。磁性膜214は、 CoFeN （2.4T）のメッキ膜、又は、 FeAlN 、 FeN 、 FeCo もしくは FeZrN のスパッタ膜によって構成することができる。この後、第3のポール片213及びバックギャップ片217の上に、 NiFe または CoNiFe のパターンメッキ膜でなるマスク250が形成される。そして、マスク250を介して、磁性膜214をIBEの適用によってパターンニングする。

これにより、図48に図示するように、第4のポール片214と、バックギャップ片218が形成される。

パターンメッキ膜でなるマスク250を用いて磁性膜214をパターンニング

する場合、Ion Beam が用いられ、その照射角度を零度と75度に設定する。これにより、HiBs 材でなる磁性膜214を選択的にパターニングすることができる。

磁性膜214は上記とは異なる方法によってもパターニングすることができる。例えば、 Cl_2 または $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ などのハロゲン系ガス雰囲気中、50℃～300℃の高温で、RIEを実行し、磁性膜214を、例えば、その膜厚の80%程度までエッチングする。RIEを行うときの温度は、50℃以上、特に、200～250℃の範囲が好ましい。この温度範囲であれば、高精度のパターンを得ることができる。

また、 Cl_2 系ガスに O_2 を導入することで、エッチングプロファイルを正確にコントロールできる。特に、 $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ ガスに O_2 を混入することにより、残存ボロンガスの堆積物を綺麗に除去できるので、エッチングプロファイルを極めて正確にコントロールできる。

さらに、 Cl_2 、 $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ またはこれらに O_2 を混入したガスに、 CO_2 ガスを混合したエッチングガスを用いることにより、RIEのエッチングスピードが速まり、Mask 材との選択比が30～50%も向上する。

上述のようにして、磁性膜214を一部（80%程度）エッチングした後、残存する磁性膜214に対して、追加的なIBEを施す。このIBEは、例えば、40～75度の照射角度で行う。

上述したように、NiFe または CoNiFe のパターンメッキ膜でなるマスク250を用いて、磁性膜214をパターニングすることにより、第4のポール片214を正確に形成することができる。このため、第4のポール片214によって定まるスロートハイトを高精度でコントロールすることができる。例えば、スロートハイトを、0.1～0.5 μm 又は0.2～0.7 μm のように、自由にコントロールすることができる。したがって、書き込み電流の立ち上がりが速く、かつ、オーバーライト特性の優れた薄膜磁気ヘッドを得ることができる。

しかも、厚い HiBs 材で構成された第4のポール片214によってスロートハイトが決定されるため、メディアに磁気記録を与えるための書き込み磁束を、途中の漏洩を減少させながら、ポール端に集中させることができる。このため、

サイドライトやサイドイレースの問題が解消される。

<図49、図50の状態に至るプロセス>

図48の状態から図49の状態に至るプロセスでは、 Al_2O_3 でなる絶縁膜256を、スパッタなどの手段によって、 $3\sim4\mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させる。この後、図50に図示するように、絶縁膜256、第4のポール片214及びバックギャップ片218の表面を、CMPによって研磨して平坦化する。これにより、第4のポール片214及びバックギャップ片218は、絶縁膜256の内部に自己整合的に埋め込まれることになる。

<図51及び図52の状態に至るプロセス>

図50の状態から図51、図52の状態に至るプロセスでは、平坦化された研磨面に、フォトリソグラフィの適用によって形成されたレジストフレームを用い、第3の磁性膜222を、フレームメッキメッキ法によって選択的に形成する。第3の磁性膜222は、 CoNiFe （組成比67：15：18 1.8～1.9T）又は FeCo （組成比60：40 2.4T）で構成することができる。その厚みは、例えば、 $3.5\sim4.0\mu\text{m}$ の範囲である。第3の磁性膜222は、ヨークの主要部を占める広い部分223と、ポール部となる細い部分224とを有するパターンである。

<図53及び図54の状態に至るプロセス>

図51、52の状態から図53、図54の状態に至るプロセスでは、Ion Beamを、 $30\sim50$ 度の角度で照射し、第3の磁性膜222をマスクとして、第2の磁性膜221をエッチングし、除去する。

<図55及び図56の状態に至るプロセス>

次に、図55、図56に図示するように、第3の磁性膜222のうち、細い部分224を除き、第3の磁性膜222の広い部分223の全体を、レジストマスクFR4によって覆う。レジストマスクFR4は、 $5\sim7\mu\text{m}$ の膜厚となるように付着する。レジストマスクFR4は、第3の磁性膜222の上で凸状となり、第1のコイル231及び第2のコイル232をも覆うように広がる。

<図57及び図58の状態に至るプロセス>

次に、図57、図58に図示するように、レジストマスクFR4をエッチ

バックさせて、第2のヨーク部を構成する第3の磁性膜222の表面を露出させる。レジストマスクFR4をエッチバックさせるプロセスとしては、 O_2 が混入されているプラズマによるドライエッチングプロセス、ハロゲン系又はフロン系のプラズマアッシングによる等方性のドライエッチングプロセス、又は、異方性のドライエッチングプロセスの何れかを採用することができる。これらのエッチングプロセスによれば、平坦性に優れたドライエッチングを行うことができる。上述した異方性のドライエッチングプロセスは、 O_2 又はハロゲン系ガス、例えば、 SF_4 、 SF_6 などのフロン系ガスを用いて行うことができる。

エッチバックのプロセスにより、レジストマスクFR4が、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222の外周縁に沿い、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着する。このため、その後のエッチングプロセスにおいて、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222の外周縁が、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなり、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222によって構成される第2のヨーク部が高精度のパターンとして形成されることになる。

フレア部分についても、レジストマスクが、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着するから、その後のエッチングプロセスにおいて、フレア部分225の外周縁も、Ion Beamなどのエッチング手段によってアタックされることがなくなる。したがって、フレア部分と細い部分224との境界に生じるフレアポイントの変動を回避し、薄膜磁気ヘッドとしたときのABSからフレアポイントまでの距離を、一定した微小寸法に設定し、オーバーライト特性を確保することができる。

次に、レジストマスクFR4において、第2のポール部に相当する細い部分に設けられた開口を通して、その内部に含まれる磁性膜及び／又はギャップ膜24をエッチングする。細い部分に対する上記エッチングにより、 $0.1 \sim 0.2 \mu m$ の狭トラック幅を有する高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッドが実現される。

上記エッチングによって、細い部分の両側に凹部が生じる。このとき、第1のポール部P1を構成する磁性膜211～214のうち、ギャップ膜24と隣

接する磁性膜 2 1 4（第 4 のポール片）については、その全部をエッチングするのではなく、凹部の底部に、当該磁性膜 2 1 4 の残部 S1、S2 が残るようにエッチングする。エッチング手段として、IBE を用いた場合、Ion Beam の照射角度の選定、及び、細い部分の幾何学的構造によって、磁性膜 2 1 4 は、底部の残部 S1、S2 の膜厚が、その根元部に近づくにつれて増大するようにエッチングされる。このような構造によれば、トラック幅を狭小化したままで、ギャップ膜 2 4 と隣接する磁性膜 2 1 4 の断面積を確保し、その磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。

図 5 7 及び図 5 8 に図示したプロセスが終了した後、レジストマスク FR 4 を除去する。この後、アルミナなどとなる保護膜 2 5 8（図 3、図 4 参照）を、例えば、20～40 μm の膜厚となるように形成して、プロセスが完了する。この後は、さらに、ウエハから、単品の薄膜磁気ヘッドを取り出すための切断加工、スロートハイト設定のための研磨工程、ABS の加工などの周知の工程が実行される。

（3）実施例 3

実施例 3 は、図 9 及び図 10 に図示した薄膜磁気ヘッドの製造プロセスであり、図 5 9～図 6 5 に図示されている。実施例 1 または実施例 2 において図示され、説明されたプロセスであって、実施例 3 においても適用されるプロセスについては、実施例 1 又は実施例 2 の説明を参照し、図示は省略することがある。

＜図 5 9 の状態に至るプロセス＞

基体 1 5 の上に付着された絶縁膜 1 6 の上に、第 1 のシールド膜 3 1、読み取り素子 3、絶縁膜 3 2、第 2 のシールド膜 3 3、絶縁膜 3 4 及び第 1 の磁性膜 2 1 1 を、周知のプロセスによって形成する。

具体例を述べると、絶縁膜 1 6 はアルミナ膜であり、例えば、3 μm 程度の膜厚となるように形成する。第 1 のシールド膜 3 1 は、NiFe などの磁性材料を用い、フレイムメッキ法によって 2～3 μm の膜厚として形成する。絶縁膜 3 2 は、一般には、2 段階ステップで形成される。第 1 ステップでは、3～4

μm の膜厚のアルミナ膜を形成した後、その表面をCMPで平坦化し、その後、読み取り素子となるGMR素子3を形成する。その後、第2ステップで、GMR素子3を覆うアルミナ膜を成膜する。第2のシールと膜33はNiFeなどの磁性材料を用い、 $1.0 \sim 1.5 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。絶縁膜34は、 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ のアルミナ膜として形成する。

第1の磁性膜211は、CoNiFe (2.1T) 又はCoFeN (2.4T) を用い、 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ の膜厚として形成する。第1の磁性膜211のうち、第1のポール片となる端部に、NiFe (80% : 20%) もしくはNiFe (45% : 55%) のメッキ膜、又は、FeAlN、FeN、FeCo、CoFeN もしくはFeZrNのスパッタ膜を、 $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の厚みで形成し、Ion Millingでパターン化してもよい。

その後、第1の磁性膜211の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、絶縁膜251を、例えば、 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ の膜厚で形成する。絶縁膜251は、バックギャップ部及びポール部に相当する部分に開口が生じるように形成する。そして、この開口に、フレームメッキ法の適用によって、第2のポール片212及び第1のバックギャップ片216を形成する。図59は第2のポール片212及び第1のバックギャップ片216を形成した後の状態を示している。

<図60の状態に至るプロセス>

図59の工程の後、絶縁膜251を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、レストフレームメッキ法により、第1のコイル231を、 $2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$ の膜厚で形成する。次に、第1のコイル231のコイルターン間のスペースに、フォトレジストでなる絶縁膜252を形成する。

次に、ポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜254を、例えば、 $3 \sim 4 \mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜254、ポール片212及びバックギャップ片216の表面を、CMPによって研磨する。図60はCMPが終了した後の状態を示している。

<図61及び図62の状態に至るプロセス>

図60の状態から図61及び図62に至るには、まず、絶縁膜254を形成

してある一面上に、HiB 材である CoFe でなる磁性膜を、 $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の膜厚で形成した後、CoFe でなる前記磁性膜の面上に、接続導体 281、第 2 のポール片 212 及びバックギャップ片 212 と対応するメッキパターンを形成する。そして、メッキパターンをマスクとして、磁性膜 213 を Ion Milling によってエッチングする。これにより、接続導体 282、第 3 のポール片 213 及びバックギャップ片 217 が得られる。

次に、接続導体 282、第 3 のポール片 213 及びバックギャップ片 217 を形成してある表面に、 Al_2O_3 でなる絶縁膜 255 を、例えば、 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜 255、第 3 のポール片 213、バックギャップ片 217 及び接続導体 281 の表面を、CMP によって研磨する。

次に、CMP によって平坦化された面に、ギャップ膜 24 を $0.06 \sim 0.1 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。ギャップ膜 24 は、例えば、Ru などの非磁性金属材料でなり、スパッタ等によって形成することができる。

次に、ギャップ膜 24 の表面、及び、平坦化面に、第 2 の磁性膜 221 を形成する。第 2 の磁性膜 221 は、HiBs 材を用いて構成する。具体的には、FeAlN、FeN、CoFe、CoFeN、FeZrN などの HiBs 材料のうち、特に、CoFe 及び CoFeN が適している。第 2 の磁性膜 221 は、この後、第 3 の磁性膜をメッキによって形成する際に、Seed 膜として用いられるものであり、例えば、 $0.3 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

この後、第 2 の磁性膜 221 を Seed 膜として、フレイムメッキ法により、第 3 の磁性膜 222 を形成する。第 3 の磁性膜 222 は、例えば、NiFe（組成比 55 : 45）、CoNiFe（組成比約 67 : 15 : 18、 $1.9 \text{ T} \sim 2.1$ ）、または、CoFe（組成比 40 : 60、 2.3 T ）等によって構成される。その厚みは、 $3.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$ の範囲である。第 3 の磁性膜 222 は、広い部分 223 と、細い部分 224 とを有するように形成される（図 26 参照）。広い部分 223 は、第 2 のヨーク部を構成する部分であり、細い部分 224 は第 2 のポール部を構成する部分である。

次に、第 3 の磁性膜 222 のうち、細い部分 224 を除き、第 3 の磁性膜 222 の広い部分 223 の全体を、レジストマスク FR5 によって覆う。レジスト

マスク FR3 は、第 1 のコイル 2 3 1 及び第 2 のコイル 2 3 2 をも覆うように広がっている。また、レジストマスク FR5 は、その端面が、細い部分 2 2 4 の表面に対して、直交するように形成する。図 6 1 及び図 6 2 はレジストマスク FR3 を形成した後の状態を示している。

<図 6 3 及び図 6 4 の状態に至るプロセス>

次に、図 6 3、図 6 4 に図示するように、レジストマスク FR5 をエッチバックさせて、第 2 のヨーク部を構成する第 3 の磁性膜 2 2 2 の表面を露出させる。レジストマスク FR5 をエッチバックさせるプロセスとしては、 O_2 が混入されているプラズマによるドライエッチングプロセス、ハロゲン系又はフロン系のプラズマアッシングによる等方性のドライエッチングプロセス、又は、異方性のドライエッチングプロセスの何れかを採用することができること、これらのエッチングプロセスによれば、平坦性に優れたドライエッチングを行うことができること、上述した異方性のドライエッチングプロセスは、 O_2 又はハロゲン系ガス、例えば、 SF_4 、 SF_6 などのフロン系ガスを用いて行うことができること、などは既に述べたとおりである。

次に、エッチングバックされたレジストマスク FR5 を用いて、第 2 のポール部に相当する細い部分に設けられた開口を通して、エッチングする。このエッチングは、第 1 のポール部を構成する第 3 のポール片 2 1 3 の表面まで実行する。

ここで、エッチバックのプロセスにより、レジストマスク FR5 が、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 の外周縁に沿い、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着する。このため、その後の開口部を通したエッチングプロセスにおいて、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 の外周縁が、Ion Beam などのエッチング手段によってアタックされることがなくなり、第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 によって構成される第 2 のヨーク部が高精度のパターンとして形成されることになる。

第 2 の磁性膜 2 2 1 及び第 3 の磁性膜 2 2 2 は、広い部分 2 2 3 を有するとともに、第 2 のポール部を構成する細い部分 2 2 4 に向かって、次第に幅が拡大するフレア部分 2 2 5 (図 5 など参照) を含んでいる。本発明では、フレア

部分 2 2 5 についても、レジストマスクが、ミスアライメントを生じることなく、自己整合的に、隙間なく完全に密着するから、その後のエッチングプロセスにおいて、フレア部分 2 2 5 の外周縁も、Ion Beam などのエッチング手段によってアタックされることがなくなる。したがって、フレア部分 2 2 5 と細い部分 2 2 4 との境界に生じるフレアポイント FP1 の変動を回避し、薄膜磁気ヘッドとしたときの ABS からフレアポイント FP1 までの距離を、一定した微小寸法に設定し、オーバーライト特性を確保することができる。

<図 6 5 の状態に至るプロセス>

図 6 3 及び図 6 4 に図示したプロセスが終了した後、レジストマスク FR 3 を除去し、その後、IBE を用い、第 1 のポール部に含まれる第 3 のポール片 2 1 3 を、追加的にエッチングする。

上記エッチングによって、図 6 5 に図示するように、細い部分の両側に凹部が生じる。このとき、ギャップ膜 2 4 と隣接する磁性膜 2 1 3 (第 3 のポール片) については、その全部をエッチングするのではなく、凹部の底部に、当該磁性膜 2 1 3 の残部 S1、S2 が残るようにエッチングする。エッチング手段として、IBE を用いた場合、Ion Beam の照射角度の選定、及び、細い部分の幾何学的構造によって、磁性膜 2 1 3 は、底部の残部 S1、S2 の膜厚が、第 3 のポール片 2 1 3 の根元部に近づくにつれて増大するようにエッチングされる。このような構造によれば、トラック幅を狭小化したままで、ギャップ膜 2 4 と隣接する磁性膜 2 1 3 の断面積を確保し、その磁気飽和を回避し、オーバーライト特性を改善することができる。

この後、アルミナなどなる保護膜 2 5 8 (図 3、図 4 参照) を、例えば、20 ~ 40 μm の膜厚となるように形成して、ウエハ上でのプロセスがほぼ完了する。さらに、ウエハから、単品の薄膜磁気ヘッドを取り出すための切断加工、スロートハイト設定のための研磨工程、ABS の加工などの周知の工程が実行される。

3. 磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置

本発明は、更に、磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置についても開示する。

図 6 6 及び図 6 7 を参照すると、本発明に係る磁気ヘッド装置は、図 1 ～図 1 0 に示した薄膜磁気ヘッド 4 0 0 と、ヘッド支持装置 6 とを含む。ヘッド支持装置 6 は、金属薄板でなる支持体 6 1 の長手方向の一端にある自由端に、同じく金属薄板でなる可撓体 6 2 を取付け、この可撓体 6 2 の下面に薄膜磁気ヘッド 4 0 0 を取付けた構造となっている。

具体的には、可撓体 6 2 は、支持体 6 1 の長手方向軸線と略平行して伸びる 2 つの外側枠部 6 2 1、6 2 2 と、支持体 6 1 から離れた端において外側枠部 6 2 1、6 2 2 を連結する横枠 6 2 3 と、横枠 6 2 3 の略中央部から外側枠部 6 2 1、6 2 2 に略平行するように延びていて先端を自由端とした舌状片 6 2 4 とを有する。横枠 6 2 3 のある方向とは反対側の一端は、支持体 6 1 の自由端付近に溶接等の手段によって取付けられている。

支持体 6 1 の下面には、例えば半球状の荷重用突起 6 2 5 が設けられている。この荷重用突起 6 2 5 により、支持体 6 1 の自由端から舌状片 6 2 4 へ荷重力が伝えられる。

薄膜磁気ヘッド 4 0 0 は、舌状片 6 2 4 の下面に接着等の手段によって取付けられている。薄膜磁気ヘッド 4 0 0 は、ピッチ動作及びロール動作が許容されるように支持されている。

本発明に適用可能なヘッド支持装置 6 は、上記実施例に限定するものではなく、これまで提案され、またはこれから提案されることのあるヘッド支持装置を、広く適用できる。例えば、支持体 6 1 と舌状片 6 2 4 とを、タブテープ (TAB) 等のフレキシブルな高分子系配線板を用いて一体化したもの等を用いることもできる。また、従来より周知のジンバル構造を持つものを自由に用いることができる。

次に、図 6 8 を参照すると、本発明に係る磁気記録再生装置は、軸 7 0 の回りに回転可能に設けられた磁気ディスク 7 1 と、磁気ディスク 7 1 に対して情報の記録及び再生を行う薄膜磁気ヘッド 7 2 と、薄膜磁気ヘッド 7 2 を磁気ディスク 7 1 のトラック上に位置決めするためのアセンブリキャリッジ装置 7 3 とを備えている。

アセンブリキャリッジ装置 7 3 は、軸 7 4 を中心にして回動可能なキャリッ

ジ75と、このキャリッジ75を回動駆動する例えばボイスコイルモータ(VCM)からなるアクチュエータ76とから主として構成されている。

キャリッジ75には、軸74の方向にスタックされた複数の駆動アーム77の基部が取り付けられており、各駆動アーム77の先端部には、薄膜磁気ヘッド72を搭載したヘッドサスペンションアッセンブリ78が固着されている。各ヘッドサスペンションアセンブリ78は、その先端部に有する薄膜磁気ヘッド72が、各磁気ディスク71の表面に対して対向するように駆動アーム77の先端部に設けられている。

駆動アーム77、ヘッドサスペンションアッセンブリ78及び薄膜磁気ヘッド72は、図66、図67を参照して説明した磁気ヘッド装置を構成する。薄膜磁気ヘッド72は、図1～図10に示した構造を有する。従って、図68に示した磁気記録再生装置は、図1～図10を参照して説明した作用効果を奏する。

以上、好ましい実施例を参照して本発明の内容を具体的に説明したが、本発明の基本的技術思想及び教示に基づいて、当業者であれば、種々の変形態様を採り得ることは自明である。